

学校编号: 10384
学 号: 200329022

分类号_____密级_____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于虚拟仪器技术的远程模糊 PID
温度控制系统

Long-distance Fuzzy-PID Temperature Control System
Based on Virtual Instrument Technology

王红超

指导教师姓名: 陈永明 副教授

专 业 名 称 : 测试计量技术及仪器

论文提交时间: 2006 年 月

论文答辩时间: 2006 年 月

学位授予日期: 2006 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

摘 要

虚拟仪器与传统仪器的最大区别在于它将传统仪器中许多用硬件才能实现的功能用软件加以实现。用户根据使用的需要,可以自己设计仪器系统,即利用通用的硬件模块,通过调用不同的软件构成不同的仪器。虚拟仪器体现了“软件就是仪器”的特点,代表着未来仪器的一个重要发展方向。

本文在对虚拟仪器技术进行系统研究的基础上,选择高性价比的PC-DAQ系统作为虚拟仪器系统的通用硬件平台,日趋流行的图形化编程语言LabVIEW作为应用软件开发平台,开发了一系列用于实验教学的虚拟仪器。另外,针对传统电阻加热炉操作复杂、控温精度低等缺点,开发了远程模糊PID温度控制器。论文共分五章,主要包括以下内容:

在绪论中,介绍了本课题的研究背景以及相关领域的研究现状;第二章简单说明了虚拟仪器的概念、特点、软硬件组成和应用;第三章探讨了虚拟示波器、虚拟波形发生器的开发方法,给出了虚拟仪器应用于电工学仿真实验的两个实例;第四章是本文的重点,设计制作了可以实现热电偶冷端自动补偿的信号调理电路,改进了LabVIEW附加软件包PID Control Toolkit中PID算法调节时间长的缺点,并根据模糊控制理论设计了一个通用的模糊控制程序,开发了基于LabVIEW平台的可以实现远程温度控制的应用程序,并完成了实验调试,达到良好的效果;最后,在第五章的小结中对本文尚未解决的问题做了必要的说明,并给出了今后研究的主要方向。

关键词: 虚拟仪器; LabVIEW; PID; 模糊控制

Abstract

The biggest difference between Virtual instrument and traditional instrument is that Virtual instrument replace many traditional instrument's hardware with software. People can create user-defined systems that meet their exact application needs. With general hardware modules, call different software modules can build different instruments. Virtual instrument embodies the characteristic of "software is instrument", and represents an important development direction of the future instrument.

On the base of the systematic research to the virtual instrument, PC-DAQ system which has high performance price ratio was chosen as the general hardware module, and graphic programming language LabVIEW which become popular day by day was adopted to establish a software platform. A series of virtual instrument were developed to being used in experimental teaching. Furthermore, long-distance fuzzy-PID temperature controller was developed to overcome the shortcomings of traditional electric resistance heating furnace which operation complex and the precision is low etc. This paper is composed of five chapters, the main contents are:

In Chapter 1, the research background of the project and the research status quo of relative area were introduced; In Chapter 2, the concept, characteristics ,configuration of both hardware and software and the applications of virtual instrument were given. In Chapter 3, the method to build virtual oscilloscope, waveform generator and two virtual instrument applied in electrical engineering was explained; Chapter 4 was the key point of this article, in this chapter, the signal conditioning circuit which can accomplish the thermocouple cold-junction compensation automatically was manufactured, the shortcoming that PID algorithm in PID Control Toolkit achieved the steady state needs a long time was improved, and a general fuzzy control algorithm was designed according to the fuzzy control theory, moreover, the application software that realized the temperature long-distance control based on LabVIEW was compiled, and the results were given; Lastly in Chapter 5, the summary was presented, the unsolved problems and the main work of further research were put forward.

KEY WORD: Virtual Instrument; LabVIEW; PID; Fuzzy Control

目 录

摘要

第一章 绪论	1
1.1 选题的意义	1
1.2 相关领域研究现状	2
1.3 本文所做的工作	2
第二章 虚拟仪器概述	4
2.1 虚拟仪器的概念	4
2.2 虚拟仪器的特点	4
2.3 虚拟仪器的硬件系统	5
2.4 虚拟仪器的软件系统	6
2.5 虚拟仪器的应用	7
第三章 几种常用的虚拟仪器	10
3.1 虚拟示波器	10
3.2 虚拟波形发生器	17
3.3 微分电路和积分电路虚拟演示仪	24
3.4 RLC 串联电路零输入响应虚拟演示仪	26
第四章 远程模糊 PID 温度控制系统	28
4.1 PLC-18 温度测量与控制装置	29
4.2 热电偶测温模块	31
4.3 PID 控制	35
4.4 模糊控制	44
4.5 服务器和客户机的程序设计	54
4.6 实验结果	65
第五章 结论与展望	71
参考文献	73
致谢	75

Contents

Abstract

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Meaning of this task	1
1.2 Status quo of applied reserch in relative area.....	2
1.3 Main works	2
Chapter 2 Summarization of Virtual Instrument	4
2.1 Conception of Virtual Instrument	4
2.2 Characteristic of Virtual Instrument.....	4
2.3 Hardware system of Virtual Instrument.....	5
2.4 Software system of Virtual Instrument	6
2.5 Application of Virtual Instrument	7
Chapter 3 Some useful Virtual Instruments.....	10
3.1 Virtual oscilloscope	10
3.2 Virtual function generator.....	17
3.3 Virtual differential and integral circuit	24
3.4 Virtual zero-input response of series-wound RLC circuit	26
Chapter 4 Fuzzy-PID Temperature Controller in Distance.....	28
4.1 Device of temperature measurement and control.....	29
4.2 Temperature measurement with thermocouple	31
4.3 PID control.....	35
4.4 Fuzzy control	44
4.5 Programs in server and client.....	54
4.6 Experimental results	65
Chapter 5 Conclusion and prospect.....	71
Reference	73
Thanks.....	75

第一章 绪论

仪器仪表是人们认识客观物质世界,探索自然规律和进行现代化生产必须的工具和物质手段。传统仪器的发展大致经历了四个时期:

第一代——模拟仪器。如指针式万用表、电压表,它们的基本特征是采用电磁感应原理实现,采用指针显示结果。

第二代——分立元件式仪器。当 20 世纪 50 年代出现电子管,20 世纪 60 年代出现晶体管时,便产生了以电子管和晶体管电子电路为基础的第二代测试仪器——分立元件式仪器。

第三代——数字化仪器。20 世纪 70 年代,随着集成电路的出现,诞生了以集成电路芯片为基础的第三代仪器——数字化仪器。这类仪器目前相当普及,如数字电压表、频率计等。这类仪器将模拟信号的测量转化为数字信号的测量,并以数字方式输出最终结果,适用于快速响应和较高准确度的测量。

第四代——智能仪器。智能仪器内置微处理器,能进行自动测量,具有一定的数据处理能力,可取代部分脑力劳动。它的全部功能都是以硬件(或固化的软件)的形式存在,但是相对于虚拟仪器来说,无论是开发还是应用,都缺乏灵活性^[1]。

虚拟仪器是 20 世纪 80 年代仪器技术和计算机技术深层次结合的产物,它在测试测量与控制领域占有重要的地位,并正在成为当今世界流行的仪器构成方案^[2]。近十年来,随着计算机硬件技术和软件技术的发展,虚拟仪器技术正朝着高性能、多功能、集成化、网络化方向发展^[3]。

1.1 选题的意义

实验是是高等学校教学中的重要环节,学生通过做实验,可以加深对所学知识的理解,增加学习兴趣,提高动手能力。然而,目前我国许多高校中使用的教学实验仪器大多数仍为相当落后的传统仪器,随着时代的发展和教学内容的更新,它们日益暴露出一些缺陷和不足。而且,近年来各大高校纷纷扩招,学生人数急剧增加,实验室的设备更加难以满足教学的需要,许多高校的实验室只能让学生分组完成一些简单的验证性实验,教学效果低下。从我国的实际情况来看,大多数高校教育经费紧张,不可能采购大量高档昂贵的传统仪器。另一方面,随着计算机技术的发展,PC 机的价格变得相对十分低廉,实验室一般都配备有一

定数量的电脑，部分学生也有自己的计算机；再加上网络的普及和虚拟仪器技术的成熟。在这种情况下，只需要再添置一些相对低廉的虚拟仪器硬件，就可以构建虚拟仪器系统。因此，虚拟仪器的开发已成为解决上述问题的有效方案之一。此外，虚拟仪器不仅可作为构建教学实验室的基础，还可广泛应用于生产和科研活动。

1.2 相关领域研究现状

目前，虚拟仪器实验室在发达国家已经十分普及。作为首先提出虚拟仪器实验室概念，并具有雄厚的科研实力和强大财力的美国，从一开始就十分重视虚拟仪器实验室的研究和开发，在该领域的研究已处于领先地位。虚拟仪器系统及其图形编程语言（LabVIEW）已成为各大学理工科学生的一门必修课，其普及程度是相当广泛的。国外的一些大学已组建了远程虚拟仪器实验室，如：德国的汉诺威大学建立了虚拟自动化实验室；西班牙大学电子系开发了电子仪器虚拟工作平台；意大利帕瓦多大学建立了远程虚拟教育实验室；新加坡国力大学开发了远程示波器实验和压力容器实验等。

在国内，虚拟仪器实验室的建设也得到了重视，已有部分高校初步建立了虚拟仪器实验室。例如：清华大学利用虚拟仪器构建了汽车发动机检测系统；华中理工大学机械学院工程测试实验室将其虚拟仪器实验室成果在网上公开展示，供远程教育使用；四川联合大学基于虚拟仪器的设计思路，研制了“航空电台二线综合测试仪”，将 8 台仪器集成于一体，组成虚拟仪器系统；复旦大学、上海交通大学、广州暨南大学等一批高校，也开发了一批新的虚拟仪器系统用于教学和科研^[4]。但是，由于国内接触虚拟仪器的时间较短，目前还处于不断开拓其应用领域的阶段，存在很多空白，而且以往开发的虚拟仪器系统也存在一些不足，需要进一步完善。

1.3 本文所做的工作

本文完成的主要工作有：

（1）虚拟仪器技术研究。

（2）开发了虚拟示波器、虚拟波形发生器等实验室常用虚拟仪器和部分电工学模拟仿真实验，如：微分电路和积分电路虚拟演示仪、RLC 串联电路零输入响应虚拟演示仪等。

(3) 完成了远程模糊 PID 温度控制器的研制, 不仅实现了高精度的恒温控制, 而且可以对任意设定的升温/降温过程进行控制; 实现了热电偶冷端温度的自动补偿; 分析了各种新型 PID 算法, 提出了积分自动分离 PID 算法, 并且编写了 LabVIEW 下的 PID 控制算法程序; 研究了模糊控制技术并编写了 LabVIEW 下的模糊控制算法程序。编写了 LabVIEW 下的客户端和服务端程序, 实现了局域网内对 PLC-18 温度测控箱的远程控制。

第二章 虚拟仪器技术概述

一台仪器一般由信号采集、数据分析和结果表达三部分组成。在传统仪器里，这三部分都是用硬件和一些固化的软件来实现的。随着计算机技术的发展，尤其是数字信号处理技术的进步，实现各种信号处理功能的软件算法精度越来越高，速度越来越快，在仪器的数据分析部分，用软件代替硬件成为可能，即：用算法代替电子线路，实现传统仪器的信号处理功能。同时，结果表达原本就是计算机的特长。这样，就可以把传统仪器的后两部分用计算机软件来实现。

2.1 虚拟仪器的概念

所谓的虚拟仪器，就是在以通用计算机为核心的通用硬件平台上，由用户设计定义，采用虚拟面板，测试功能由软件实现的一种计算机仪器系统。这里的“虚拟”有两层含义^[5]：

(1) 虚拟的仪器面板

在虚拟仪器里由软件在计算机显示器上生成类似于真实仪器的操作面板，物理的开关、按键、旋钮以及数码管等显示器件都是由与实物外观很相似的图形控件来代替，操作人员通过鼠标或者键盘操纵软件界面中的这些控件来完成仪器的控制。

(2) 由软件实现仪器的测量功能

在虚拟仪器系统中，仪器功能是由软件编程来实现的。它不仅能实现传统仪器的测量功能，也能实现传统仪器不能实现或者很难实现的一些数据处理功能，如 FFT 分析、小波分析、数字滤波、回归分析、统计分析等。通过不同软件模块的组合，还可以实现多种自动测试功能。

2.2 虚拟仪器的特点

虚拟仪器是计算机技术介入仪器领域所形成的一种新型的、富有生命力的仪器种类。与传统仪器相比，虚拟仪器的优势可以概括为以下几个方面^[6]：

(1) 丰富和增强了传统仪器的功能。虚拟仪器融合了计算机强大的硬件资源，突破了传统仪器在数据处理、显示、存储等方面的限制，大大增强了传统仪器的功能，且仪器功能随着计算机技术的发展还可不断提升。

(2) 突出了软件的作用。虚拟仪器是在以计算机为核心的硬件平台支持下, 通过软件编程来实现仪器功能的。所以, 可以利用计算机丰富的软件资源, 实现部分仪器硬件的软件化, 节省了物质资源, 增加了系统灵活性。通过软件技术和相应数值算法, 可以实时、直接地对测试数据进行各种分析与处理; 而且通过图形用户界面(GUI)技术, 可以设计出友好的人机交互界面。在不改变硬件平台的情况下, 优化软件的性能也可以提升虚拟仪器的功能。

(3) 虚拟仪器的功能由用户决定。即可以根据用户的不同要求对同一仪器的功能进行修改或增删, 彻底打破了传统仪器一经设计、制造完成后, 其功能就不可以改变的封闭性、单一性。

(4) 开放的工业标准。虚拟仪器的软硬件都具有开放性、模块化、可重复使用及互换性等特点。因此, 用户可根据自己的需要, 选用不同厂家的产品, 使资源的可重复利用率提高, 所组建的仪器系统功能易于扩展和维护, 降低仪器开发和使用成本。

(5) 易于构建网络化的测量系统。虚拟仪器既可以作为测试仪器单独使用, 又可以通过高速计算机网络构成复杂的分布式测试系统, 进行远程测试、监控和故障诊断。

综上所述, 虚拟仪器具有传统独立仪器无法比拟的优势, 但它并不否定传统仪器的作用。在高速度、高带宽和专业测试领域, 传统的独立仪器具有无可替代的优势。在中低档测试领域, 虚拟仪器可取代一部分独立仪器的工作。虚拟仪器比较适合用于组建大型的综合测控系统, 从而完成复杂环境下的自动化测试工作, 这是传统的独立仪器难以胜任的, 也是最能体现虚拟仪器价值的地方。

2.3 虚拟仪器的硬件系统

虚拟仪器的硬件系统由计算机和 I/O 接口设备组成。

计算机可以是各种类型的计算机, 如普通台式计算机、便携式计算机、工作站、嵌入式计算机等。计算机管理着虚拟仪器的硬软件资源, 是虚拟仪器的硬件基础。计算机技术在显示、存储能力、处理性能、网络、总线标准等方面的发展, 推动着虚拟仪器技术的快速发展。

I/O接口设备主要完成被测信号的采集、放大和模/数转换, 不同的总线有

其相应的I/O接口设备。目前，按照测量总线的不同可以将虚拟仪器的构成分为GPIB、VXI、PXI、LXI、串口总线和DAQ六种类型^{[6] [7] [8] [9]}。

经过广泛的分析论证，本文选择的是 PC-DAQ 数据采集系统，它是以数据采集模块、信号调理电路和计算机为仪器硬件平台组成的虚拟仪器系统，如图 2.1 所示。这里选用的数据采集卡是 NI 公司的 PCI6221。由于计算机技术的飞速发展，PC 机的性能得到了极大的提高。它拥有强大的硬件基础、广泛的软件支持、一大批熟练的用户以及低廉的价格。因此，基于 PC-DAQ 的虚拟仪器将成为虚拟仪器的一个重要发展方向。

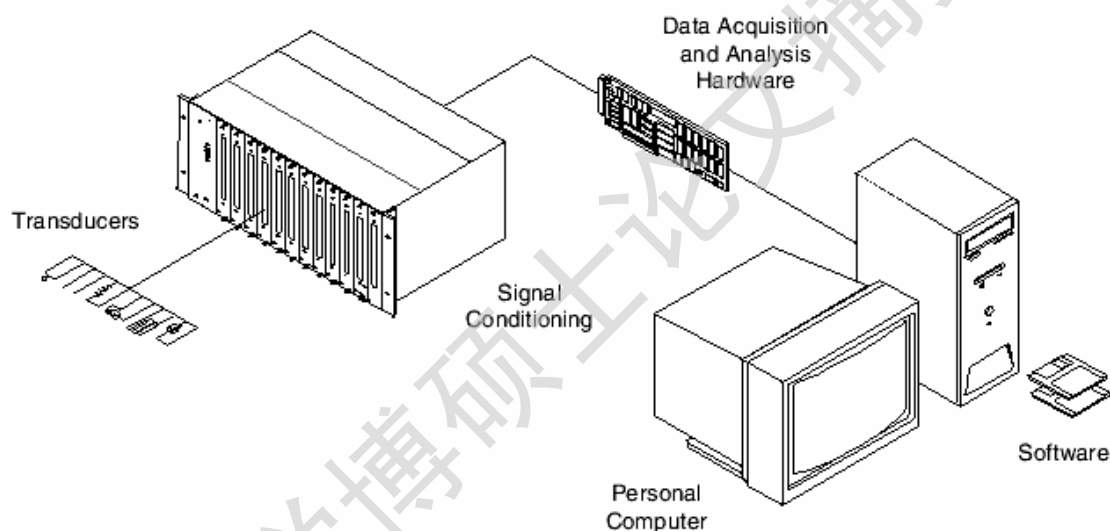


图 2.1 典型的数据采集系统

2.4 虚拟仪器的软件系统

虚拟仪器技术最核心的思想，就是利用计算机的硬件和软件资源，使本来需要硬件实现的功能软件化（虚拟化），以便最大限度地降低系统成本，增强系统的功能与灵活性。基于软件在 VI 系统中的重要作用，NI 公司提出了“软件就是仪器”的口号。VPP（VXI Plug & Play）系统联盟提出了系统框架、驱动程序、VISA、软面板、部件知识库等一系列 VPP 软件标准，推动了软件标准化的进程。虚拟仪器的软件框架从底层到顶层，包括三个部分：VISA 库、仪器驱动程序、应用软件。

VISA（Virtual Instrumentation software Architecture），即虚拟仪器软件体

系结构，实质就是标准的 I/O 函数库及其相关规范的总称。一般称这个 I/O 函数库为 VISA 库。它驻留于计算机系统之中执行仪器总线的特殊功能，是计算机与仪器之间的软件层连接，以实现对仪器的程控。它对于仪器驱动程序开发者来说是一个个可调用的操作函数集。

仪器驱动程序是完成对某一特定仪器控制与通信的软件程序集。它是应用程序实现仪器控制的桥梁。每个仪器模块都有自己的驱动程序，仪器厂商以源码的形式提供给用户。

应用软件建立在仪器驱动程序之上，直接面对操作用户，通过提供直观友好的测控操作界面、丰富的数据分析与处理功能，完成自动测试任务^[7]。

虚拟仪器应用软件开发系统是设计开发虚拟仪器所必需的软件工具，目前较流行的虚拟仪器软件开发环境有两类：一是文本式的编程语言，主要有 Microsoft 公司的 Visual Basic 与 Visual C++、Borland 公司的 Delphi、Sybase 公司的 PowerBuilder、NI 公司的 Lab windows/CVI 等；二是图形化的编程语言，如 HP 公司的 VEE、NI 公司的 LabVIEW 等。本文采用 LabVIEW 作为虚拟仪器的应用软件开发环境。

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench，实验室虚拟仪器工程平台) 是美国 NI 公司研制的一个功能强大的虚拟仪器系统开发工具，自 1986 年问世以来，已经成为虚拟仪器软件开发平台事实上的工业标准，在研究、制造和开发的众多领域得到广泛应用^[7]。LabVIEW 是功能齐全的图形化编程语言 (G 语言，Graphics Language)，和其它高级语言一样定义了 int、long、float 等数据结构，sequence、if、case、for、while 等语言结构，模块调用语法规则等编程语言的基本要素^[10]。同时，LabVIEW 作为一个软件开发环境，也具有程序调试、应用软件生成等工具。对于建立虚拟仪器来说，LabVIEW 提供了一个理想的程序设计环境，它提供的图形化编程语言简单、直观、开发效率高。随着虚拟仪器技术的不断发展，图形化的编程语言必将成为测试和控制领域内最有前途的发展方向。

2.5 虚拟仪器的应用

虚拟仪器技术的优势在于用户可自行定义仪器的功能和结构等，且构建容易，转换灵活，因此应用领域十分广阔，遍布电工电子、机械、通信、汽

车制造、航天、生物、医药、化工、科研、教育等各个行业领域，且应用领域还将不断拓宽。表 2.1 给出了当前的一些典型应用实例^[11]。

表 2.1 虚拟仪器典型的应用实例

行业	典型应用实例
半导体	IC 芯片表面标识自动识别虚拟仪器系统的设计
材料	基于虚拟仪器技术小试件材料弹性常数测试系统的开发
船舶	基于虚拟仪器的分布式实时在线半实物船舶仿真系统开发
道路车辆	基于虚拟仪器技术开发的便携式铁道车辆平稳性测量仪
电力/电工	运用 LabVIEW 和 PCI-6025E 开发变压器通用试验系统
电信	基于虚拟仪器技术的短波电台自动测试系统
电子	IC 芯片表面标识自动识别虚拟仪器系统的设计
纺织	DAQ 和 LabVIEW 用于服装面料的质量测定
高校/教育	基于 LabVIEW 的分布式 VXI 仪器教学实验系统设计
工业自动化	基于 LabVIEW 和 PXI 平台的焊机自动测试系统
光学	基于虚拟仪器技术的激光接收器测试系统
航天航空	NI 测控产品以及虚拟软、硬件技术在卫星测控中的应用
环境	Kelvin 探针大气腐蚀电位分布测试系统的研究与开发
机电	基于虚拟仪器的圆盘式电流变传动机构的检测与控制系统
建筑业	应用 NI 技术快速构建土木工程在线监测系统解决方案
能源	基于虚拟仪器的原油管道泄漏监测系统
汽车	基于虚拟仪器技术的汽油发动机点火提前角测试系统
生物科技/生命科学	虚拟仪器技术在神经传导检测中的应用
实验/研发	SSRC 磁场测量实验室积分测量系统的建立
消费电子	用 LabVIEW 测试电话系统用户环路集中测量系统的测试头
冶金	基于 LabVIEW 和 PXI 的轧机振动纹在线监诊系统

虚拟仪器技术是一项涉及多种技术领域的综合性技术，并且也是一项仍然在不断发展的新技术。总的说来，虚拟仪器的出现是仪器发展史上的一次

革命，它代表着仪器发展的最新方向和潮流，对科学技术的发展和工业生产的进步将产生不可估量的影响。

厦门大学博士论文摘要库

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库